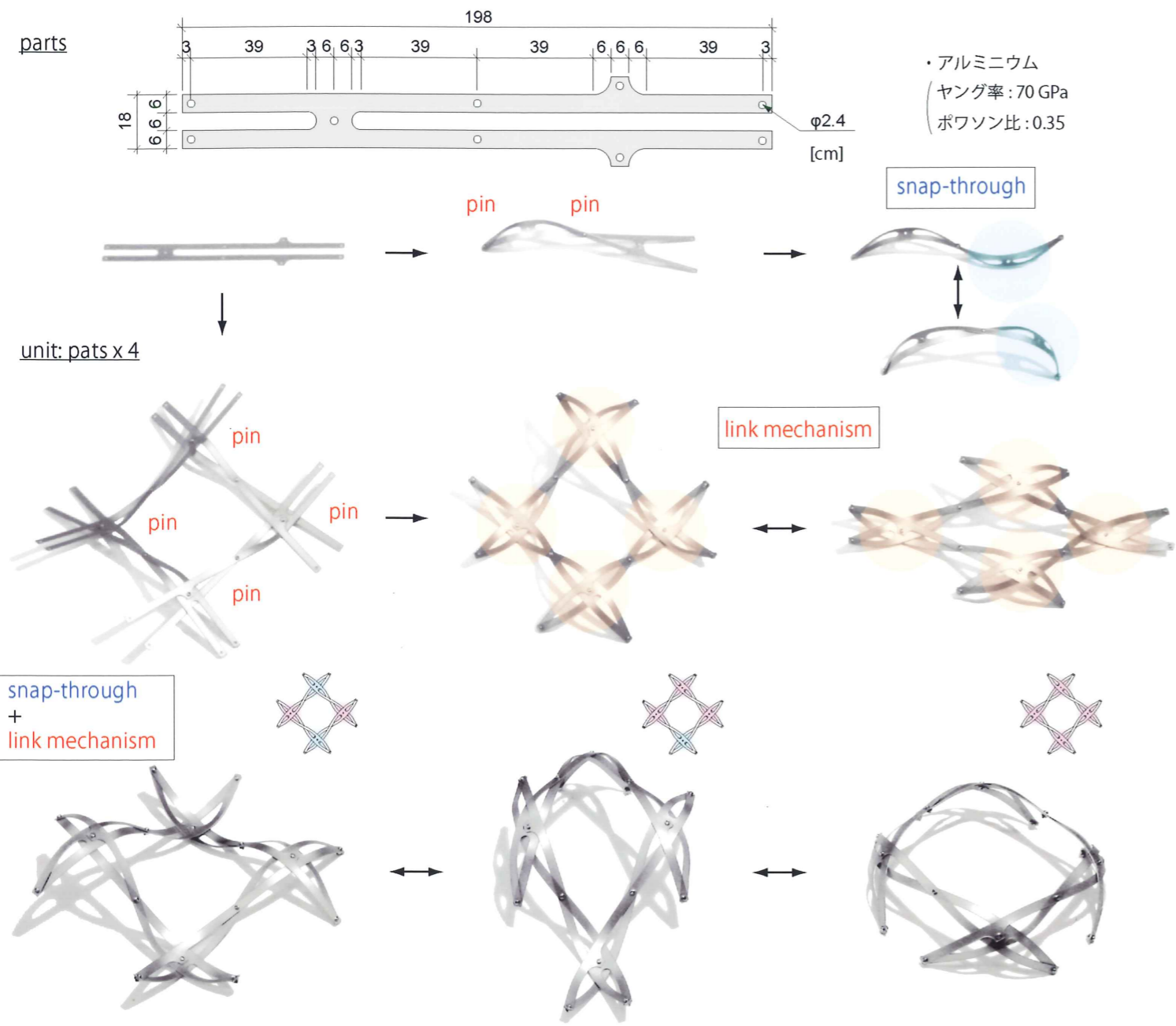


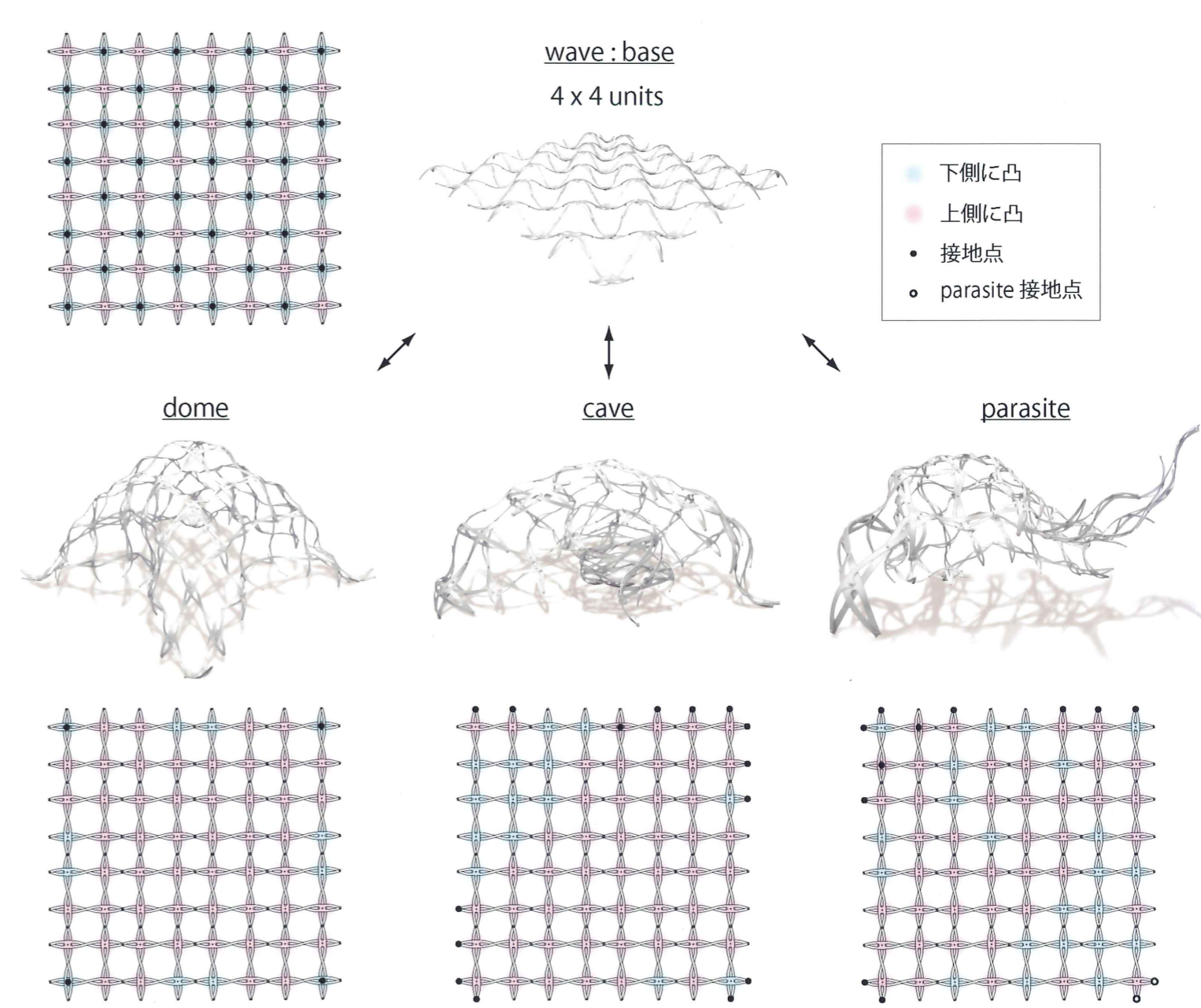
# the Mechanism of the structure

この構造は、1種類の部材で構成され、全てピン接合で造られます。1つの部材は、ピンで4ヶ所留めることで、2種類の安定形状を持った bistable 構造となり、飛び移り座屈によって、安定形状間を行き来することができます。2種類の安定形状を持つ部材を多数組み合わせることで、安定形状を多数持った multistable 構造となります。また、multistable 構造を可能にするもう一つの特徴が、リンク機構です。部材を4つピンで接合することで、面内で自由に變形するリンク機構を持ったユニットが形成されます。ユニットは、飛び移り座屈とリンク機構によって、3種類の安定形状を持った multistable 構造となります。



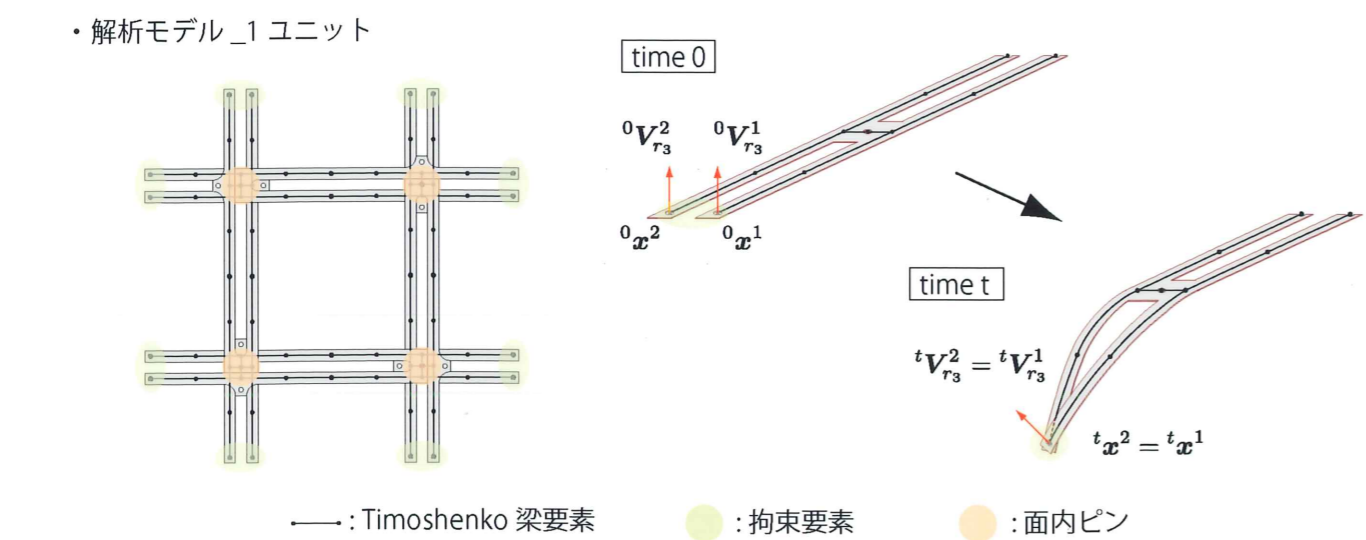
# the Form Finding of the structure (small scale model)

ユニット同士をピンで接合し、部材を編み込むように2次的に展開していくことで、基本形状となる wave 形状となります。wave 形状から、部材を組み直すことなく、飛び移り座屈とリンク機構の組み合わせによって、形態を自由に変えることができます。広い内部空間を持った dome 形状や、外部空間が内部に入り込む cave 形状、そして、周囲環境に適応し、他の構造物に手をかけて成り立つ parasite 形状など、時間や場所や用途に合わせて、様々な形態に形を変えることができます。



# the Form Finding of the structure (analysis)

部材を有限変形・有限回転を考慮した Timoshenko 梁要素でモデル化します。そして、梁要素のポテンシャルエネルギーに、2つの幾何的な拘束条件を付加し、拘束条件付きのポテンシャルエネルギーの停留条件を与えることで、仮想仕事式と拘束条件式を導くことができます。求めた式は非線形方程式となるため、Newton-Raphson 法による反復計算を行うことで、形態と部材に働く応力を導出します。



幾何学非線形有限要素法による定式化

拘束要素による拘束条件

$$\begin{cases} {}^t\mathbf{x}^2 - {}^t\mathbf{x}^1 = 0 \\ {}^t\mathbf{V}_{r_3}^2 - {}^t\mathbf{V}_{r_3}^1 = 0 \end{cases} \xrightarrow{\text{Lagrange Multiplier Method}}$$

$$\pi_{total} = \underbrace{\sum_{i=1}^{n_{beam}} \frac{1}{2} \int_V \mathbf{S}_i : \mathbf{E}_i dV}_{\pi_{beam}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{n_{const}} \lambda_j \cdot \{(\mathbf{x}_j^2 - \mathbf{x}_j^1) + (\mathbf{V}_{r_{3j}}^2 - \mathbf{V}_{r_{3j}}^1)\}}_{\pi_{const}}$$

停留条件  $\delta\pi_{total} = 0$   $\rightarrow$  (仮想仕事式 + 拘束条件式)  $\rightarrow$  Newton-Raphson 法 (反復計算)  $\rightarrow$  (形態 + 応力)

- $n_{beam}$ : 梁要素総数
- $n_{const}$ : 拘束要素総数
- $\mathbf{E}$ : Green-Lagrange ひずみテンソル
- $\mathbf{S}$ : 2nd Piola-Kirchhoff 応力テンソル
- $\lambda$ : ラグランジュ未定乗数 (拘束力) ベクトル
- $\mathbf{x}^{1,2}$ : 拘束要素の節点座標
- $\mathbf{V}_{r_3}^{1,2}$ : 拘束要素の持つディレクターベクトル